

Le frecce nella figura indicano le interrelazioni tra le situazioni. Nella parte superiore sono elencati gli elementi italiani del quadro di coordinamento, in quella inferiore gli elementi francesi. Il quadro fa riferimento esclusivamente alla parte inferiore dello spettro UHF. Trattamento a parte hanno i casi del VHF e della parte superiore della banda UHF. Senza entrare nel dettaglio del contenuto di ogni singolo elemento, è possibile ricostruire lo scenario globale del coordinamento.

Innanzitutto esiste il panorama analogico italiano e francese. Questo panorama, almeno per quanto riguarda la parte italiana normata regolamentata dall'Accordo di Stoccolma 1961, è compatibile (per definizione).

Inoltre esiste lo sviluppo del digitale francese pre-Accordo di Ginevra 2006: i trasmettitori digitali francesi non sono mai stati autorizzati dall'Amministrazione italiana e quindi le procedure di coordinamento attuale ne tengono conto per permettere all'Amministrazione francese di completare la propria transizione verso il digitale. Ancora, da parte francese esiste la situazione a regime, nel mondo tutto digitale, che sarà raggiunta effettuando successivi spegnimenti dell'analogico successivi in aree di piccola dimensione.

Da parte italiana, esiste una transizione "a soglia" da effettuare in diverse aree tecniche. La Sardegna è già digitalizzata.

Ora tra tutte le diverse risorse esistono condizioni di coordinamento diverse: casi analogici verso digitali temporanei; casi analogici verso digitali definitivi; casi digitali definitivi verso digitali temporanei; casi digitali definitivi verso digitali definitivi (chiaramente non per quanto riguarda le risorse assegnate dall'Accordo di Ginevra 2006, ma per le risorse che si desidera che aggiungere nel panorama digitale).

Gli incontri di coordinamento trattano in modo più o meno specifico, dipendentemente dalle necessità, tutte le interrelazioni che esistono tra le due nazioni a seguito dello svilupparsi del processo di digitalizzazione. Chiaramente, tutto quanto ha attinenza tecnica necessita una formalizzazione da riportare all'interno del documento delle "Procedure tecniche di coordinamento", il che ne giustifica la corposità e complessità.

Parallelamente, l'assenza di situazioni di coordinamento analogamente complesse nel caso delle relazioni con le altre nazioni, costituisce l'elemento che conduce alla semplificazione del documento durante il coordinamento con le altre nazioni.

## 18. Evoluzione del servizio e piattaforme alternative

Nel seguito sono descritte in dettaglio le principali attività svolte dalla FUB nell'ambito di questa attività.

Sono stati innanzitutto riportati i dati di riferimento della TV digitale in Italia basati principalmente sulla Relazione 2008 dell'Autorità per le comunicazioni e su alcune delle più recenti indagini insieme ad alcuni confronti internazionali. Riguardo alla IPTV sono state anche analizzate le attuali offerte del servizio in termini di caratteristiche di base, copertura e offerta televisiva in relazione ai quattro fornitori: Fastweb, Telecom Italia, Infostrada e Tiscali.

Per quanto riguarda le piattaforme terrestri e satellitari, è stata affrontata la tematica della diffusione terrestre e satellitare mettendo in luce il valore aggiunto che può esser portato dagli standard DVB-T2 e DVB-S2. In particolare per il DVB-T2, è stato messo in luce il "trade-off" tra efficienza spettrale ed efficienza energetica, ovvero il "guadagno" ottenibile con la nuova piattaforma a parità di condizioni al contorno. Sono state inoltre analizzate in dettaglio le nuove tecniche introdotte con particolare riguardo a quelle per la protezione dell'informazione ed è stato messo in luce il fattore moltiplicativo dei vantaggi, originato dall'introduzione delle nuove codifiche di sorgente. Infine sono stati evidenziati i perché della nascita e i fattori per l'affermazione, primo tra tutti l'introduzione della televisione ad alta definizione al posto di quella a qualità standard a parità di risorse frequenziali e (quasi) parità di programmi.

Per quanto concerne il servizio televisivo su rete con protocollo IP, sono stati affrontati sia i temi di architetture per diffusione all'interno delle singole piattaforme di Operatore (IP TV) sia quelli relativi alla diffusione su definizione di architetture del tipo WEB TV (diffusione via Internet).

Innanzitutto è stato fatto uno studio teorico per valutare i limiti della attuale rete in rame e per capire quindi le relative limitazioni alla diffusione della TV sulla rete IP; tale studio è stato ottenuto mediante un codice di simulazione numerica realizzato dalla FUB per valutare le prestazioni delle reti xDSL.

Per la IPTV sono state sperimentate tecniche innovative di tipo Carrier Ethernet per garantire la QoS in presenza di congestione della rete o di limitazione di banda nell'accesso, sia in modalità standard che HD. La FUB ha preso in considerazione una architettura basata sulla tecnica VPLS, in quanto la ritiene la più idonea per un servizio IPTV, prendendo in considerazione anche lo stato attuale delle rete ed in particolare della macchine oggi presenti. E' questa anche la tendenza mostrata dai principali operatori.

Per quanto riguarda la WEB TV, si è analizzata la diffusione di servizi TV in tutte le piattaforme di operatore con modalità uniformi e operando nelle condizioni possibili per questo tipo di architettura (modalità "best effort"). I principali strumenti tecnologici per realizzare il servizio sono stati identificati nelle tecniche di protezione dell'informazione per i servizi lineari e nei protocolli di ritrasmissione per i servizi non lineari.

Per quanto riguarda la TV ad alta definizione la Fondazione ha contribuito, nell'ambito del FORUM HD alla stesura delle specifiche per i decoder. Inoltre sono stati fatti studi sperimentali sui servizi IPTV HD sul test bed FUB/ISCTI sia con modalità MPEG2 che MPEG4.

Si è presa poi in considerazione la *mobile TV* con le sue tre principali piattaforme: la cellular broadcast, la terrestrial digital broadcast e la hybrid satellite/terrestrial. Dallo studio si è evidenziato come la tecnica hybrid satellite/terrestrial (DVB-SH) avrebbe dei notevoli vantaggi specialmente per l'integrazione della diffusione diretta via satellite con il segnale terrestre per la ricezione indoor. Infine sono stati trattati anche i temi della protezione dei contenuti nella TV digitale ed in particolare sono inoltre state analizzate le tecniche che consentono di gestire la sicurezza nelle varie tecniche per la TV digitale con particolare rilevanza per le soluzioni per lo standard DVB MHP e quelle nel contesto IPTV.

Nel seguito riportiamo alcuni dettagli delle attività svolte con particolare rilievo per i contributi originali della FUB che hanno portato anche a pubblicazioni scientifiche.

### *La diffusione della TV digitali in Italia*

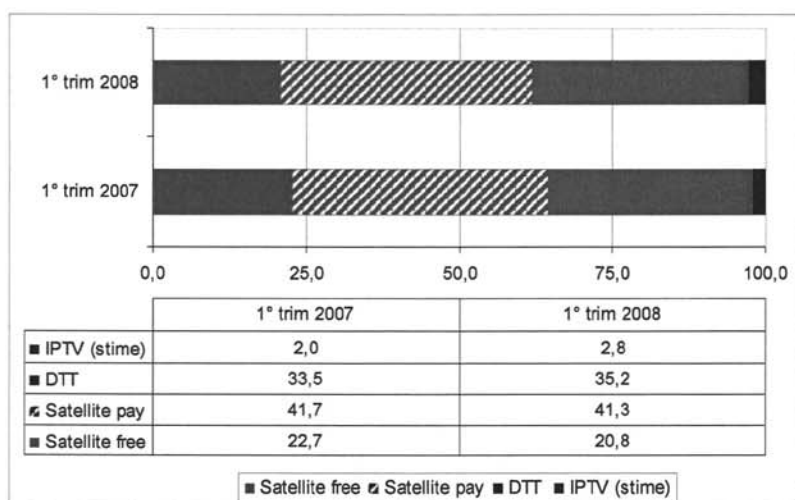
In Italia la televisione digitale nel suo complesso (satellite, digitale terrestre e IPTV) ha raggiunto nel marzo scorso circa 11 milioni di utenti (tabella 1), con un incremento assoluto di oltre 900.000 rispetto al trimestre 2007 (Agcom 2008). Tale crescita è da ascrivere prevalentemente all'affermazione della televisione via satellite a pagamento e del digitale terrestre, mentre gli utenti della IPTV superano di poco i 300.000 abbonati (figura 1); in termini di crescita relativa, invece, è proprio quest'ultimo segmento a mostrare una crescita più forte (50%) seguito dal digitale terrestre con un valore del 14,4% (figura 2).

Complessivamente, il numero di famiglie italiane dotate di almeno un accesso TV digitale ha toccato il 52,8%, con una netta prevalenza del satellite, sia *free* che *pay* (28,4%), e del digitale terrestre (23,1%) rispetto alla IPTV (0,9%) e alla TV via cavo (0,4%).

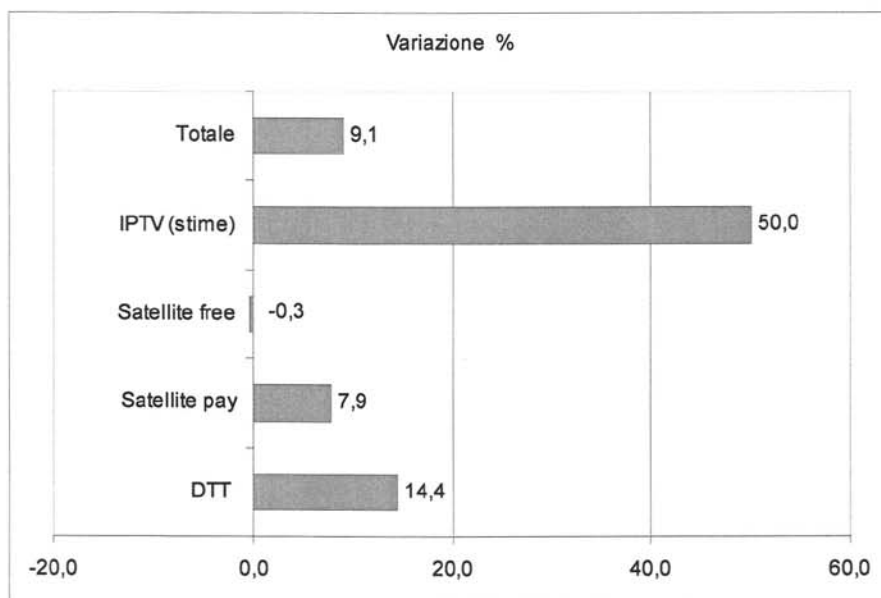
*Tabella 1 - Piattaforme televisive digitali: accessi delle famiglie italiane (dati in migliaia) (fonte: elaborazione su dati Agcom 2008)*

<i>Piattaforma TV</i>	<i>1° trim 2007</i>	<i>1° trim 2008</i>	<i>Variazione assoluta</i>	<i>Variazione percentuale</i>
Satellite free	2.270.000	2.263.000	-7.000	-0,3
Satellite pay	4.170.000	4.500.000	330.000	7,9
DTT	3.350.000	3.834.000	484.000	14,4
IPTV (stime)	200.000	300.000	100.000	50,0
Totale	9.990.000	10.897.000	907.000	9,1

*Figura 1 - Piattaforme televisive digitali: composizione percentuale (fonte: elaborazione su dati Agcom 2008)*



*Figura 2 - Piattaforme televisive digitali: incremento percentuale  
(1° trimestre 2008 su 1° trimestre 2007)  
(fonte: elaborazione su dati Agcom 2008)*



I confronti internazionali (tabella 3) mostrano che a fine 2006 è la Francia il solo Paese europeo in cui il fenomeno IPTV ha una rilevanza significativa con oltre 2,6 milioni di accessi pari al 7,6% degli accessi totali. In Francia sono soprattutto i bassi prezzi della banda larga e del così detto “triple play” (telefono, Internet veloce e TV) a decretare questa cifra da record. L'Italia si attesta al di sotto della media UE, ma va osservato che la media risulta fortemente influenzata dall'elevato valore della Francia e quindi scarsamente significativa come indice sintetico della distribuzione europea. Solo la Spagna in Europa mostra dati in forte crescita con 500.000 accessi pari al 2,5% del totale degli accessi. Regno Unito e Germania, con circa 100-150.000 utenti ciascuno, mostrano valori molto bassi in rapporto al numero di accessi anche perché in questi Paesi l'IPTV è partita tardi e soffre molto la concorrenza della TV via cavo. Va infine considerato che il ritardo dell'Italia risulta assai significativo dal momento che il nostro Paese è l'unico (con il Portogallo) a non avere la TV via cavo.

*Tabella 3 – Numero accessi IPTV per Paese e in percentuale al totale al 2007 (fonte: elaborazione su dati Agcom 2008 e Manganelli e Parcu 2008)*

<i>Paese</i>	<i>Numero accessi IPTV</i>	<i>% su totale accessi</i>
Francia	2.600.000	7,6
Germania	120.000	0,2
Italia	300.000	0,9
Spagna	500.000	2,5
U.K.	160.000	0,1
<b>Media UE</b>	<b>3.500.000</b>	<b>1,9</b>

Nel resto del mondo si osserva che negli Usa l'IPTV si è ritagliata uno spazio con circa un milione di utenti nonostante la forte presenza della Tv via cavo; in Estremo Oriente Hong Kong ha superato un milione di utenti così come la Cina con una crescita del 900 per cento in un anno.

#### *I limiti della rete attuale*

La necessità di fruizione dei nuovi servizi digitali è stato il motore per un nuovo modo di concepire l'intero sistema di comunicazione e con esso quello dell'infrastruttura su cui essa viaggia. La rete d'accesso in particolare (parte della rete che si occupa della connessione tra centrale di commutazione locale e l'utenza terminale), storicamente sviluppata per tipologia di servizio (o solo voce o solo dati o solo video), è stata rivista con il fine di dar vita ad una "rete d'accesso integrata" che potesse essere adatta per il trasporto, da o verso gli utenti terminali, di diversi tipi di informazione, ciascuno caratterizzato da propri specifici requisiti di qualità di servizio. Proprio per soddisfare questo tipo di esigenze, è stato necessario rendere possibile (e disponibile all'utente finale) un servizio di accesso "a banda larga", ovvero implementare tecniche che permettessero all'utente di avere connessione alla rete con elevati livelli prestazionali in termini di velocità (sia in upstream che in downstream) ma anche di ritardo e qualità sulla ricezione dei dati.

Con l'evolversi delle tecnologie il gap tecnologico che divideva utenza finale e servizi "evoluti" è andato via via scomparendo, in particolare con l'avvento della famiglia delle DSL. Tali tecnologie godono oggi di grande popolarità, in quanto consentono il trasporto di dati ad alta velocità sulla rete d'accesso in rame, rete già capillarmente diffusa sul territorio italiano. All'interno della famiglia DSL possiamo distinguere diversi sistemi: HDSL, ADSL, R-ADSL, ADSL2+, VDSL. Tuttavia l'ADSL e le sue evoluzioni (ADSL2 e ADSL2+), insieme alla più evoluta VDSL, ricoprono un ruolo di primaria importanza nel contesto italiano. Mentre negli anni precedenti sembrava che tali tecniche potessero soddisfare appieno la

necessità di banda richieste dai servizi multimediali offerti, nel recente passato grazie alla notevole evoluzione dei nuovi servizi, come l'HD-IPTV, tale convinzione è andata scemando. Anche i servizi xDSL più performanti come l'ADSL2+, come verrà dimostrato da questo lavoro, possono mostrarsi fortemente inadeguate.

Ciò è dovuto, tra l'altro, allo stretto legame di tali tecniche con il mezzo trasmissivo in rame (doppino telefonico) per il quale queste sono state studiate e progettate. Pur riconoscendo la necessità di adeguare la rete di accesso alle nuove velocità di trasmissione richieste, con una sostituzione almeno parziale dei collegamenti in rame con quelli in fibra ottica, ciò stenta a decollare.

Tale fatto ha validissime motivazioni a livello economico (almeno per gli operatori di rete). Infatti, l'investimento necessario alle sostituzioni delle portanti in rame con quelle in fibra è sicuramente ingente e quindi poco allettante per gli operatori di rete orientati a sfruttare al massimo una rete notevolmente diffusa sul territorio e che implica ormai costi di gestione relativamente bassi.

Per studiare i limiti della rete in rame la FUB ha sviluppato un codice numerico su MATLAB la cui descrizione è riportata in appendice. Nel seguente paragrafo saranno mostrati i risultati salienti ottenuti attraverso il sistema di simulazione.

Nelle tre figure seguenti sono mostrati tali andamenti per le tre tecnologie considerate (ADSL, ADSL2+, VDSL).

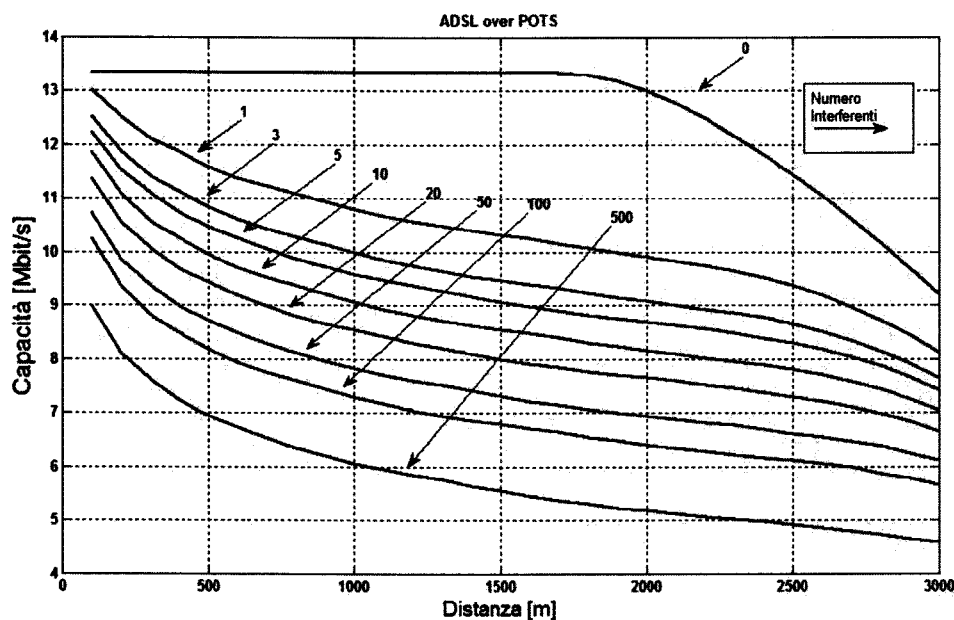


Figura 3 Capacità in Downstream di un sistema ADSL over POTS

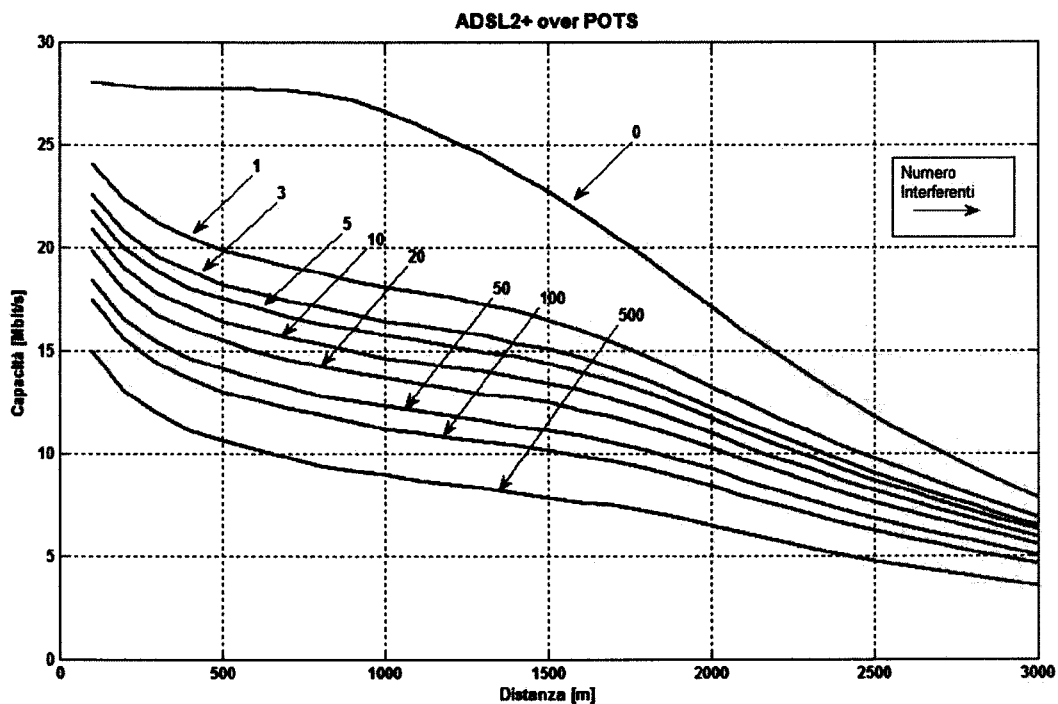


Figura 4 Downstream di un sistema ADSL2+ over POTS.

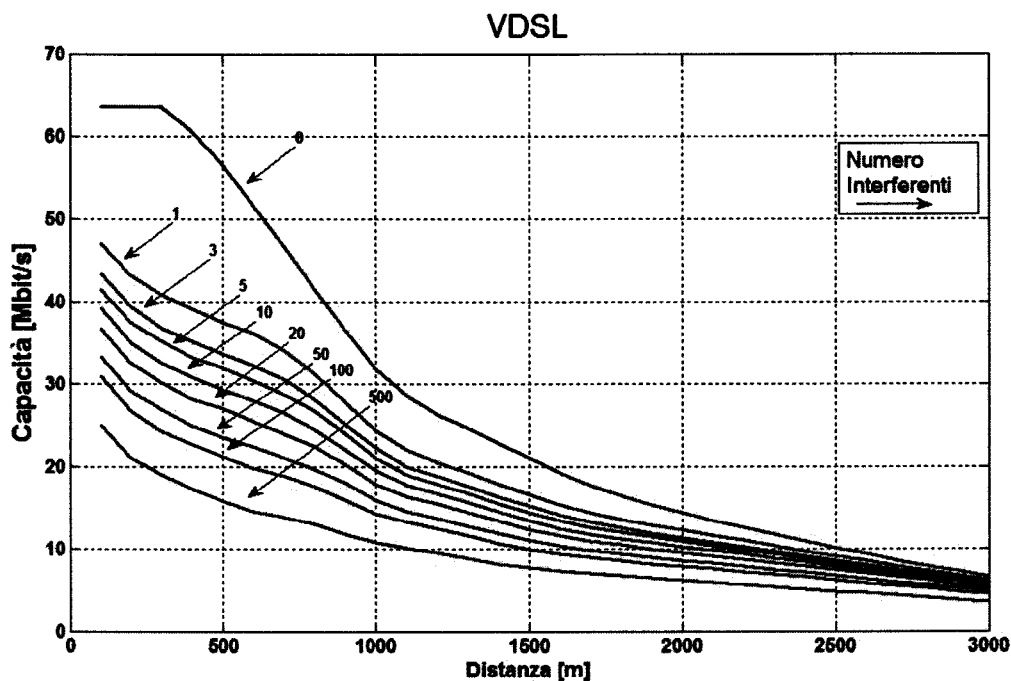


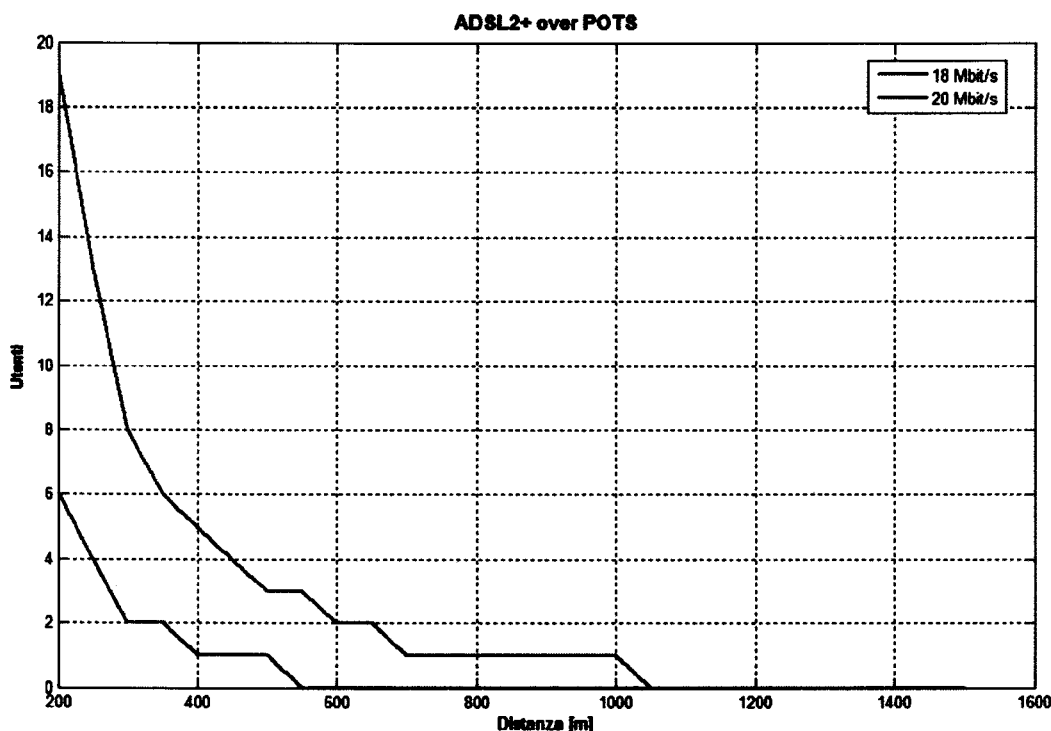
Figura 5 Downstream di un sistema VDSL

Tali figure mostrano come la presenza di altre comunicazioni in cavi adiacenti a quello su cui viaggia il segnale di riferimento siano altamente dannose in termini prestazionali sulla trasmissione considerata.

Nei casi mostrati, la perdita di prestazioni sono dovute all'interferenza di tipo FEXT oltre che al rumore termico e alle comunicazioni radioamatoriali. Questa considerazione è alla base del fenomeno secondo il quale le capacità relative alle tecnologie ADSL2+ e VDSL tendono a coincidere con l'aumentare della distanza; questo stesso fenomeno, seppur altrettanto presente, influisce in modo meno marcato sulla tecnologia ADSL. Tale comportamento può essere spiegato dal fatto che alle alte frequenze il contributo dell'interferenza FEXT è minore, per cui il decadimento prestazionale è dovuto principalmente all'attenuazione introdotta dal canale.

Il tool di simulazione implementato consente l'ulteriore studio riguardo l'utenza servibile in modo contemporaneo al fine di mantenere un dato livello prestazionale, in termini di capacità.

Tale analisi risulta esser particolarmente interessante nel caso di ADSL ed ADSL2+ essendo, queste, tecniche di accesso che utilizzano esclusivamente il doppino telefonico come canale trasmissivo. Nel seguente grafico vengono mostrati il numero di utenti che possono essere contemporaneamente attivi, oltre a quello di riferimento, relativamente alla lunghezza del cavo e affinché vengano mantenuti determinati livelli di capacità non inferiori ad un rate-target nel caso dell'ADSL2+ (18 e 20 Mbit/s).



**Figura 6 Numero di interferenti per un sistema ADSL2+**

Alcune interessanti conclusioni possono essere tratte dai due grafici precedenti; la prima è relativa ai servizi del tipo ADSL con larghezze di banda intorno ai 7 Mbit/s, che possono essere effettivamente forniti ad un numero elevato di utenti dislocati a distanze medie lungo la rete di accesso. Focalizzando l'attenzione sulla stessa curva, inoltre, è possibile rilevare come la diminuzione di possibili utenze servibili diviene sempre più evidente al crescere dei requisiti prestazionali richiesti (e quindi dei servizi che richiedono una maggiore allocazione della banda disponibile). La seconda, invece, è relativa alla tecnologia ADSL2+: mantenendo una capacità effettiva di circa 20 Mbit/s è possibile garantire il servizio solo per una quantità molto esigua di utenti e comunque con requisiti di distanza (local loop) molto stringenti (a 500 metri il contributo di interferenti tollerabili è appena pari a 1!).

Queste osservazioni mostrano come le tecniche di accesso xDSL ed in particolare quelle prestazionalmente avanzate (ADSL2+) possano essere inadeguate a trasportare servizi multimediali di ultima generazione, come ad esempio l'HD-IPTV, per un bacino di utenza relativamente ampio come quello comunemente afferente ad un singolo segmento della rete di accesso.

Gli andamenti delle prestazioni delle tecnologie xDSL appena mostrati, offrono spunto per alcune interessanti considerazioni sulle effettive potenzialità di tali tecniche nell'ambito dei servizi appartenenti all'offerta commerciale proposte dagli operatori di rete.

Pur presentando dei livelli prestazionali abbastanza elevati, almeno a livello teorico, si nota come questi siano fortemente dipendenti dalla distanza e dal numero di interferenti presenti all'interno dello stesso cavo. Infatti anche le tecniche attualmente più evolute, come l'ADSL2+ e il VDSL, riescono a fornire prestazioni particolarmente elevate solo nel caso in cui la distanza tra la centrale e l'utente risulti essere alquanto limitata.

Ad oggi l'ADSL2+ è considerata (e soprattutto pubblicizzata) come la tecnica di accesso in grado di fornire prestazioni tali da soddisfare appieno tutte le esigenze dell'utenza finale. Effettivamente questo risulta essere confermato dalle simulazioni, le quali mostrano come, a distanze corrispondenti alla lunghezza media della rete di accesso, la banda fornita anche con un elevato numero di interferenti sia tale da supportare i servizi multimediali ad oggi più impegnativi in termini di bit/s (come ad esempio IPTV).

Discorso diverso va fatto per i servizi del prossimo futuro, come l'HD-IPTV, per i quali anche l'ADSL2+ risulterà essere inadeguata a parte il caso limite in cui l'utente si trovi in particolari condizioni di ottimalità, come ad esempio l'immediata vicinanza alla centrale (al di sotto dei cinquecento metri).

Prendendo in considerazione il VDSL si nota come anche per essa si possano fare considerazioni analoghe a quelle fatte per l'ADSL2+, ma in questo caso i vincoli in distanza ed interferenza risultano essere molto più stringenti.

I risultati ottenuti dimostrano come questa tecnica offra sì velocità molto elevate ma solo per le prime centinaia di metri dalla centrale; velocità che si vanno affievolendo pesantemente all'aumentare della tratta percorsa. Dal grafico relativo alle massime velocità ottenibili, si nota come dopo una distanza di un chilometro questa abbia perso più della metà della sua banda. Addirittura a un chilometro e mezzo, le prestazioni che un sistema VDSL può offrire arrivano ad uguagliare quelle di un sistema ADSL2+.

A conclusione di tutto ciò si può affermare che le forme più evolute delle tecniche di accesso su tratta completamente in rame siano, allo stato attuale delle cose, perfettamente adatte alle esigenze capacitive dell'utenza finale.

Tuttavia, ciò potrebbe non essere più vero nell'immediato futuro; infatti, vista la repentina evoluzione dei servizi multimediali e di conseguenza della relativa richiesta di banda, si pone evidente l'inadeguatezza di tale tecniche, limitate fortemente dal canale trasmissivo su cui si sviluppano.

Appare quindi necessario un ammodernamento della rete di accesso, con la sostituzione, almeno in parte, dei collegamenti in rame con corrispettivi in fibra passando dalla rete di accesso completamente in rame a reti di tipo ottico. Una possibile soluzione, attualmente in sperimentazione in Italia, prevede l'utilizzo di reti PON (*Passive Optical Network*) unitamente a tecniche xDSL, in particolare VDSL2. In questo modo è possibile portare la fibra il più vicino possibile all'utente, limitando così la lunghezza del collegamento in rame e ottenere le elevate velocità fornite da un sistema VDSL a tali distanze (come mostrato nelle simulazioni precedenti).

### *Le sperimentazioni FUB sulla IPTV*

Per testare le funzionalità e l'evoluzione delle reti NGN fa FUB e 'ISCOM e la FUB realizzeranno una rete multiservizio multiaccesso IP, dimensionata per operare in un ambito regionale, che permetteva di garantire la qualità del servizio per servizi real time multimediali mediante varie tecniche di etichettatura dei pacchetti (DiffServ, MPLS, GMPLS), introducendo delle metodologie per la misura della qualità del servizio, sia con prove oggettive (che misurano parametri fisici come il ritardo dei pacchetti, la perdita dei dati e il throughput della rete) che con prove soggettive e cioè basate sulle valutazioni percettive.

La rete sperimentale che è stata realizzata, si inserisce perfettamente nel contesto delle reti nazionali moderne: infatti l'impiego del protocollo MPLS ripropone tutti i vantaggi di ATM su una rete IP, consentendo un approccio *Connection Oriented* su di un mondo che per sua natura è *Connectionless*. D'altro canto è necessario la tutela di stringenti caratteristiche per opportune tipologie di traffico, ed è qui che si fa strada l'approccio DiffServ che è stato implementato nella rete e che risulta essere il più utilizzato anche dagli operatori di IP-TV.

Con le prove soggettive si è introdotto un modo diverso di concepire la progettazione di una rete. Nasce la necessità di centrare la progettazione di una rete non solo sulle sue prestazioni ma anche sulla soddisfazione dell'utente finale.

La FUB ha utilizzato questa rete per effettuare delle sperimentazioni di servizi IPTV. L'architettura a cui si fa riferimento è quella basata su Carrier Ethernet ed in particolare su VPLS.

I service providers da tempo stanno utilizzando il Multiprotocol Label Switching (MPLS) nel core delle loro reti, ma le reti metropolitane di aggregazione risultano essere ancora indietro nella transizione verso l'MPLS.

In genere le reti di aggregazione sono basate sulle tradizionali reti Ethernet provviste di bridges. Dal punto di vista della resiliency queste reti dipendono dalle varie topologie dello Spanning Tree Protocol, ma i tempi di recupero sono comunque lenti: infatti i tempi di convergenza, ovvero il tempo necessario al protocollo per reagire al guasto di un elemento della rete o al suo ripristino, tendono a crescere con il numero di switch coinvolti nel processo. Inoltre la scalabilità di queste reti risulta limitata a causa della dimensione relativamente piccola (12 bit) del tag della Virtual Local Area Network (VLAN) e del flooding degli indirizzi MAC (Media Access Control). La gestione del traffico risulta essere comunque impegnativa e di solito è necessaria una grande quantità di banda per la risoluzione dei vari problemi.

### *Struttura del Test-Bed*

Al fine di questo lavoro di tesi, è stato implementato un test-bed presso il Ministero delle Comunicazioni, dove ha sede un distaccamento della **Fondazione Ugo Bordoni**. Tale test-bed, realizzato in collaborazione con l'**Istituto Superiore delle Comunicazioni (ISCOM)**, prevede la collaborazione di tre laboratori distinti tra i quali è stato creato un collegamento *ad hoc* in fibra:

- *Laboratorio Trasmissioni ottiche* (ufficio III ISCOM)
- *Laboratorio Reti ottiche dinamiche* (primo piano ISCOM)
- *Laboratorio Reti di accesso* (ufficio II ISCOM)

Nel laboratorio *Trasmissioni Ottiche* è attestato un collegamento all'anello ottico Roma-Pomezia; il *link*, che collega in anello Roma e Pomezia, è lungo 24 Km "one way" ed è

costituito da 80 fibre monomodali in terza finestra (1550 nm), delle quali 30 ds (*dispersion shifted*)<sup>16</sup>, 20 nzd (*non zero dispersion*)<sup>17</sup> e 30 sf (*standard fiber*).

Nel laboratorio *Reti Ottiche Dinamiche* sono presenti:

- due routers **Juniper M10** e due routers **Juniper M10i**;
- quattro pc client (ciascuno connesso ad un diverso router), utilizzati sia per lo scambio di flussi video allo scopo di testare le connessioni, sia per l'accesso remoto ai routers;
- due pc server (connessi ai due Juniper M10i), utilizzati come sorgenti e archivio per tali filmati;
- un pc connesso alle interfacce di management dei quattro routers ed usato come "driver".

---

<sup>16</sup> Dispersion Shifted Fiber (ITU-T G.653): tipo di fibra monomodale in cui la *zero-dispersion wavelenght* è traslata da 1330 nm a 1550 nm

<sup>17</sup> Non Zero Dispersion Fiber (ITU-T G.655): tipo di fibra monomodale in cui la *zero-dispersion wavelenght* è tipicamente intorno a 1510 nm (NZD+) e 1580 nm (NZD-)



Figura 7- particolare del laboratorio di Reti Ottiche Dinamiche

Nel laboratorio *Reti di Accesso* sono presenti:

- tre routers **Cisco 3845**;
- un softswitch **Alcatel ESS 7450**;
- due pc client (ciascuno connesso ad un diverso router), utilizzati sia per lo scambio di flussi video allo scopo di testare le connessioni, sia per l'accesso remoto ai routers;
- un pc connesso in seriale alle interfacce di management dei tre routers ed usato come "driver" (tale pc è anche connesso alla LAN del laboratorio e vi si può accedere tramite desktop remoto).

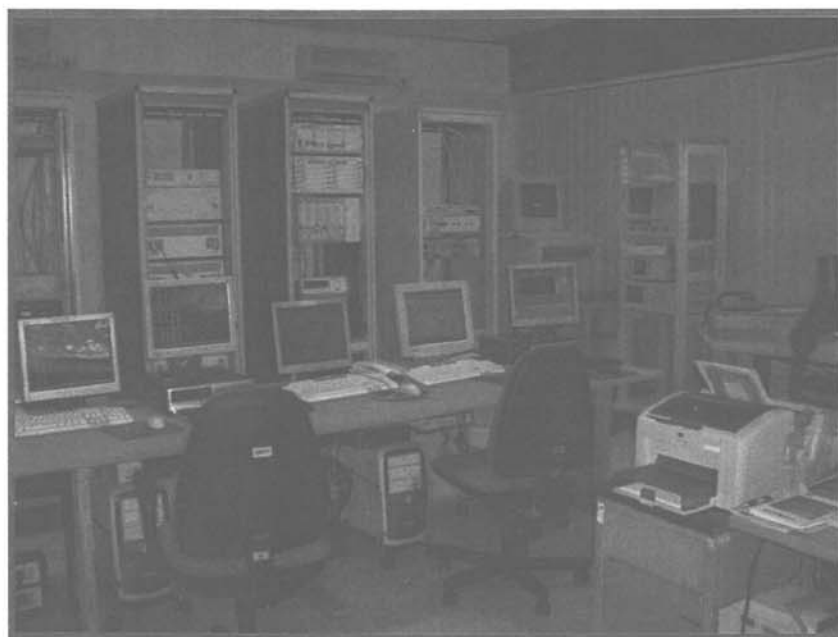


Figura 8 - particolare del laboratorio Reti di Accesso

Come appena visto, il cuore del test-bed consta di sette routers, quattro Juniper (due M10 e due M10i) e tre Cisco 3845. I routers della serie M di Juniper sono di fascia alta, pensati ed equipaggiati per far parte di una core network, mentre i quelli della serie 3800 della Cisco sono di fascia media, pensati ed equipaggiati per essere utilizzati come nelle reti di accesso. Tali caratteristiche hanno naturalmente portato ad una configurazione di rete nella quale i quattro routers Juniper fungono da core network completamente magliata ed i tre routers Cisco fungono da rete di accesso.

Oltre ad avere caratteristiche diverse, questi routers sono dislocati in due laboratori differenti interconnessi tramite fibra ottica multimodale, sfruttando un cablaggio già predisposto tra i due piani. Il controllo dell'intera rete è stato remotizzato presso il laboratorio Reti di Accesso e gli accessi a tutti i routers sono stati realizzati sia in remoto, dai pc host tramite Telnet, sia in seriale con un pc dedicato.

La struttura del test-bed è mostrata in figura 4.3:

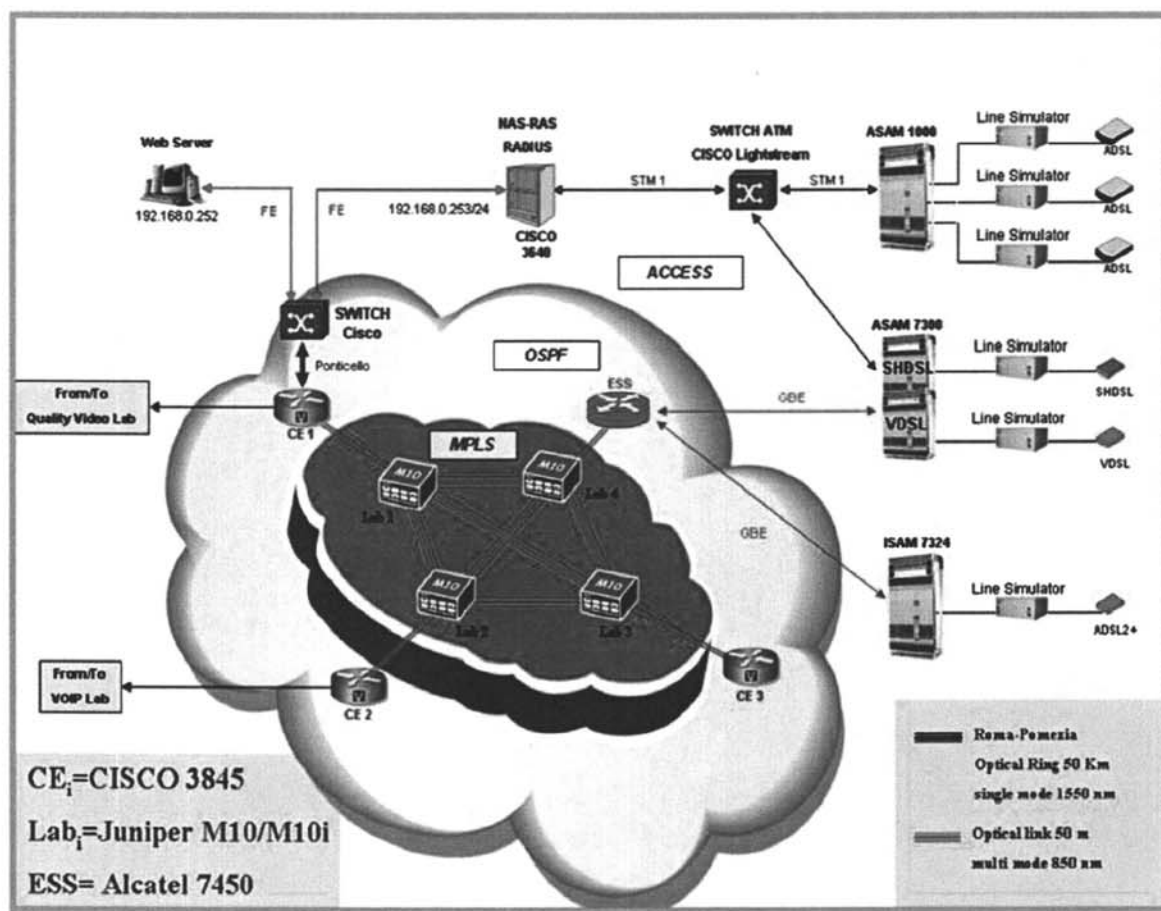


Figura 9 - Struttura del Test-Bed

Dalla figura si può notare la presenza di ulteriori elementi quali un router Cisco 3640, utilizzato come *Nas-Ras Radius*, uno switch Cisco Lightstream per i percorsi ATM, un ASAM 1000 per l'accesso ADSL, un ASAM 7300 per accessi VDSL ed SHDSL ed un ISAM 7324 per l'accesso ADSL2/2+.

Le sperimentazioni che sono state effettuate hanno riguardato essenzialmente due tipi di prove: il cambio canale e la qualità del servizio. Andiamo a vedere in dettaglio la configurazione della rete per i Label Switched Path (LSP) di tipo Point To MultiPoint (P2MP), per il Virtual Private LAN Service (VLPS) ed i test effettuati su quest'ultimo servizio.

### Configurazione di un LSP P2MP

Abbiamo visto che esistono varie tecniche che supportano il trasporto di servizi multicast, in particolar modo dell'IPTV: da un lato il VPLS per il suo intrinseco supporto del multicast, dall'altro l'impiego degli LSP P2MP.

Per completezza, sebbene le sperimentazioni illustrate nel seguito siano rivolte alla tecnologia VPLS, si è scelto di mostrare il metodo di configurazione di un LSP P2MP.